

MAGNETORESISTANCE EFFECT MULTILAYERED FILM AND ITS MANUFACTURE

Patent Number: JP9092905
Publication date: 1997-04-04
Inventor(s): HASEGAWA NAOYA;; UCHIYAMA MASAHIRO
Applicant(s): ALPS ELECTRIC CO LTD
Requested Patent: ☐ JP9092905
Application Number: JP19950337371 19951225
Priority Number(s):
IPC Classification: H01L43/08
EC Classification:
Equivalents: JP3335519B2

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To orient the magnetization of each magnetic film of multilayer structure, in a specified direction specified by design, by alternately applying uniaxial compressive stress or tensile stress to soft magnetic films which sandwich a non-magnetic film, are vertically adjacent, and have magnetostriction.

SOLUTION: A magnetoresistance effect multilayered film D is constituted by repeatedly forming a necessary number of layers (seven in this example) of soft magnetic films 31, 31' and non-magnetic films 32 on a non-magnetic substrate 30. A comparatively large tensile stress is applied to the first soft magnetic film 31 and the third soft magnetic film 31, and the direction of their axes of easy magnetization is made right (arrow mark (a)). A small compressive stress is applied to the second soft magnetic film 31' and the fourth soft magnetic film 31', and the direction of their axes of easy magnetization is made perpendicular to the arrow mark (a). Hence the direction of magnetization of the soft magnetic film 31 to which the large tensile stress is applied is films fixed by pins, and the direction of magnetization of the soft magnetic film 31' to which the small compressive force is applied is the film in which the direction of magnetization is made free.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-92905

(43) 公開日 平成9年(1997)4月4日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 1 L 43/08

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 43/08

技術表示箇所

Z

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平7-337371

(22) 出願日 平成7年(1995)12月25日

(31) 優先権主張番号 特願平7-180439

(32) 優先日 平7(1995)7月17日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000010098

アルプス電気株式会社

東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72) 発明者 長谷川 直也

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプ

ス電気株式会社内

(72) 発明者 内山 雅裕

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプ

ス電気株式会社内

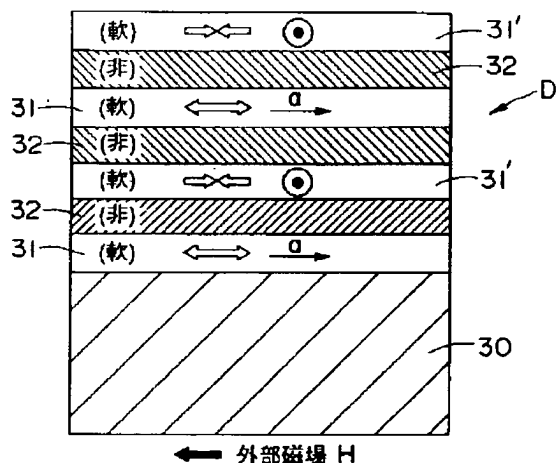
(74) 代理人 弁理士 志賀 正武 (外2名)

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果多層膜およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、従来構造ではできなかった磁性膜の磁化方向が交互に略直交するように磁気異方性が調整された多層膜構造を実現できる積層構造にすることにより、直線性が良好かつ高いMR比を得ることができると同時に、積層構造の各磁性膜の磁化の向きを設計通りに確実に所定方向に配向させることができる磁気抵抗効果多層膜とその製造方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 本発明は、磁歪を有する軟磁性膜31、31'と非磁性膜32が交互に少なくとも2層以上積層された磁気抵抗効果多層膜であって、非磁性膜32を挟んで上下に隣接する前記軟磁性膜31、31'にそれぞれ軸性の圧縮応力か引張応力が、層毎に交互に印加されてなるものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁歪を有する軟磁性膜と非磁性膜が交互に少なくとも2層以上積層された磁気抵抗効果多層膜であって、非磁性膜を挟んで上下に隣接する前記軟磁性膜にそれぞれ一軸性の圧縮応力か、引張応力が、層毎に交互に印加されてなることを特徴とする磁気抵抗効果多層膜。

【請求項2】 積層された軟磁性膜に交互に圧縮応力が引張応力が印加されて、積層された軟磁性膜の磁化容易軸の向きが交互にほぼ直交方向に向くように調整されてなることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果多層膜。

【請求項3】 積層された軟磁性膜の磁歪が正であり、引張応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きがピン止めされるとともに、圧縮応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きが自由にされてなることを特徴とする請求項1または2記載の磁気抵抗効果多層膜。

【請求項4】 積層された軟磁性膜の磁歪が正であり、引張応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きが自由にされるとともに、圧縮応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きがピン止めされてなることを特徴とする請求項1または2記載の磁気抵抗効果多層膜。

【請求項5】 積層された軟磁性膜の磁歪が負であり、引張応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きが自由にされるとともに、圧縮応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きがピン止めされてなることを特徴とする請求項1または2記載の磁気抵抗効果多層膜。

【請求項6】 積層された軟磁性膜の磁歪が負であり、引張応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きがピン止めされるとともに、圧縮応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きが自由にされてなることを特徴とする請求項1または2記載の磁気抵抗効果多層膜。

【請求項7】 少なくとも一部が圧電材料からなる基板が用いられ、この基板上に軟磁性膜と非磁性膜が積層されてなることを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載の磁気抵抗効果多層膜。

【請求項8】 熱膨張係数が結晶方位で異なり、しかもその方向が直交している基板が用いられ、この基板上に軟磁性膜と非磁性膜が積層されてなることを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載の磁気抵抗効果多層膜。

【請求項9】 基板を一方向に伸張させるか収縮させた状態で基板上に軟磁性膜を形成する工程と、基板を変形させない状態で基板上に非磁性膜を形成する工程と、先の工程で基板に加えた伸張状態、あるいは収縮状態とは逆の状態に基板を収縮させるか伸張させて非磁性膜上に軟磁性膜を形成する工程をそれぞれ選択して行い、軟磁性膜と非磁性膜が交互に少なくとも2層以上基板上に積層された磁気抵抗効果多層膜を製造することを特徴とする磁気抵抗効果多層膜の製造方法。

【請求項10】 熱膨張係数が結晶方位で異なり、しか

もその方向が直交している基板が用い、基板を一方向に伸張させるか収縮させるために基板を加熱するか冷却するかを選択して行うことを特徴とする請求項9記載の磁気抵抗効果多層膜の製造方法。

【請求項11】 基板を成膜面側に凸状に湾曲させるか凹状に湾曲させた状態で基板上に軟磁性膜を形成する工程と、基板を変形させていない状態で基板上に非磁性膜を形成する工程と、先の工程で基板に加えた湾曲状態とは逆の湾曲状態に基板を収縮させるか伸張させて非磁性膜上に軟磁性膜を形成する工程をそれぞれ選択して行い、軟磁性膜と非磁性膜が交互に少なくとも2層以上基板上に積層された磁気抵抗効果多層膜を製造することを特徴とする磁気抵抗効果多層膜の製造方法。

【請求項12】 圧電材料からなる基板に電圧を印加して基板を一方向に伸張させるか収縮させた状態で基板上に軟磁性膜を形成する工程と、基板に電圧を印加しない状態で基板上に非磁性膜を形成する工程と、先の工程で基板に加えた伸張状態あるいは収縮状態とは逆の状態に基板を収縮させるか伸張させて非磁性膜上に軟磁性膜を形成する工程をそれぞれ選択して行い、軟磁性膜と非磁性膜が交互に少なくとも2層以上基板上に積層された磁気抵抗効果多層膜を製造することを特徴とする磁気抵抗効果多層膜の製造方法。

【請求項13】 基板両端部に圧電材を添設し、圧電材に電圧を印加して基板を一方向に伸張させるか収縮させた状態で基板上に軟磁性膜を形成する工程と、圧電材に電圧を印加しない状態で基板上に非磁性膜を形成する工程と、先の工程で基板に加えた伸張状態あるいは収縮状態とは逆の状態に基板を収縮させるか伸張させて非磁性膜上に軟磁性膜を形成する工程をそれぞれ選択して行い、軟磁性膜と非磁性膜が交互に少なくとも2層以上基板上に積層された磁気抵抗効果多層膜を製造することを特徴とする磁気抵抗効果多層膜の製造方法。

【請求項14】 磁歪が正の軟磁性膜を用い、軟磁性膜の形成時に基板を伸張させて軟磁性膜に引張応力を印加するとともに、他方の軟磁性膜の形成時に基板を収縮させて軟磁性膜に圧縮応力を印加することで、引張応力が印加された軟磁性膜の自発磁化の向きをピン止めするとともに、圧縮応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きを自由にすることを特徴とする請求項9～13のいずれかに記載の磁気抵抗効果多層膜の製造方法。

【請求項15】 磁歪が正の軟磁性膜を用い、軟磁性膜の形成時に基板を伸張させて軟磁性膜に引張応力を印加するとともに、他方の軟磁性膜の形成時に基板を収縮させて軟磁性膜に圧縮応力を印加することで、引張応力が印加された軟磁性膜の自発磁化の向きを自由にするとともに、圧縮応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きをピン止めすることを特徴とする請求項9～13のいずれかに記載の磁気抵抗効果多層膜の製造方法。

【請求項16】 磁歪が負の軟磁性膜を用い、軟磁性膜

の形成時に基板を伸張させて軟磁性膜に引張応力を印加するとともに、他方の軟磁性膜の形成時に基板を収縮させて軟磁性膜に圧縮応力を印加することで、引張応力が印加された軟磁性膜の自発磁化の向きを自由にするとともに、圧縮応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きをピン止めすることを特徴とする請求項9～13のいずれかに記載の磁気抵抗効果多層膜の製造方法。

【請求項17】 磁歪が負の軟磁性膜を用い、軟磁性膜の形成時に基板を伸張させて軟磁性膜に引張応力を印加するとともに、他方の軟磁性膜の形成時に基板を収縮させて軟磁性膜に圧縮応力を印加することで、引張応力が印加された軟磁性膜の自発磁化の向きをピン止めするとともに、圧縮応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きを自由にすることを特徴とする請求項9～13のいずれかに記載の磁気抵抗効果多層膜の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気ヘッド、磁気センサ等に用いられる磁気抵抗効果素子用の磁気抵抗効果多層膜に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、この種の用途に用いられている磁気抵抗(MR)効果材料として、Ni-Fe合金薄膜(パーマロイ薄膜)が知られているが、パーマロイ薄膜の抵抗変化率は2～3%が一般的である。従って、今後、磁気記録における線記録密度およびトラック密度の向上あるいは磁気センサにおける高分解能化に対応するためには、より抵抗変化率(MR比)の大きい磁気抵抗効果材料が望まれている。

【0003】ところで近年、巨大磁気抵抗効果と呼ばれる現象が、Fe/Cr交互積層膜あるいはCo/Cu交互積層膜などの多層薄膜で発見されている。これらの多層薄膜においては、FeやCoなどからなる各強磁性金属層の磁化がCrやCuなどからなる非磁性金属層を介して磁気的な相互作用を起こし、積層された上下の強磁性金属層の磁化が、外部磁場のないときは反平行状態を保つように結合している。即ち、これらの構造においては、非磁性金属層を介して交互に積層された強磁性金属層が、一層毎に磁化の向きを反対方向に向けて積層されている。そして、これらの構造においては、適当な外部磁界が印加されると、各強磁性金属層の磁化の向きが同じ方向に揃うように変化する。

【0004】前記の構造において、各強磁性金属層の磁化が反平行状態の場合と平行状態の場合では、Fe強磁性金属層とCr非磁性金属層の界面、あるいは、Co強磁性金属層とCu非磁性金属層の界面における伝導電子の散乱のされ方が、伝導電子のスピンに依存して異なるといわれている。従ってこの機構に基づくと、各強磁性金属層の磁化の向きが反平行状態の時は電気抵抗が高く、平行状態の時は電気抵抗が低くなり、抵抗変化率と

して従来のパーマロイ薄膜を上回る、いわゆる、巨大磁気抵抗効果を発生する。このようにこれらの多層薄膜は、従来のNi-Feの単層薄膜とは根本的に異なるMR発生機構を有している。

【0005】しかしながら、これらの多層膜においては、各強磁性金属層の磁化の向きを反平行とするように作用する強磁性金属層間の磁気的相互作用が強すぎるために、各強磁性金属層の磁化の向きを平行に揃えるためには、非常に大きな外部磁界を作用させなくてはならない問題がある。従って、強い磁界をかけないと大きな抵抗変化が起こらないことになり、磁気ヘッドなどのように磁気記録媒体からの微小な磁界を検出する装置に適用した場合に満足な高い感度が得られないという問題があった。

【0006】この問題を解決するためには、強磁性金属層間に働く磁気的な相互作用を過度に強くないように、CrやCuなどからなる非磁性金属層の厚さを調整し、各強磁性金属層の磁化の向きの相対的な方向を磁気的相互作用とは別の方法により制御することが有効と思われる。従来、このような磁化の相対的な方向制御技術として、FeMnなどの反強磁性層を設けることにより、一方の強磁性金属層の磁化の向きをピン止めして固定し、この強磁性金属層の磁化の向きが外部磁界に対して動き難いように構成し、他方の強磁性金属層の磁化の向きを自由に動けるように構成することにより、微小な磁界による動作を可能にした技術が提案されている。

【0007】図16は、特開平6-60336号公報に開示されているこの種の技術を応用した構造の磁気抵抗センサの一例を示すものである。図11に示す磁気抵抗センサAは、非磁性の基板1に、第1の磁性層2と非磁性スペーサ3と第2の磁性層4と反強磁性層5を積層して構成されるものであり、第2の磁性層4の磁化の向きB'が、反強磁性層5による磁気的交換結合によりピン止めされるとともに、第1の磁性層2の磁化の向きC'が、印加磁界がない時に第2の磁性層4の磁化の向きB'に対して直角に向けられている。ただし、この第1の磁性層2の磁化の向きC'は固定されないで外部磁界により回転できるようになっている。図16に示す構造に対して印加磁界hを付加すると、印加磁界hの方向に応じて第1の磁性層2の磁化の向きC'が点線矢印の如く回転するので、第1の磁性層2と第2の磁性層4との間で磁化に角度差が生じることになるために、抵抗変化が起こり、これにより磁場検出ができるようになる。

【0008】次に、一方の磁性層の磁化の向きを固定し、他方の磁性層の磁化の向きを自由とした構成の磁気抵抗センサの他の例として、図12に示すように、基板6上にNiOの反強磁性層7と、Ni-Feの強磁性金属層8と、Cuの非磁性金属層9と、Ni-Feの強磁性金属層10と、Cuの非磁性金属層11と、Ni-Feの磁性層12と、FeMnの反強磁性層13を順次積

層した構造の磁気抵抗センサBが知られている。この例の構造においては、反強磁性層7、13によりそれらに隣接する強磁性金属層8、12の磁化がそれぞれ固定され、強磁性金属層8、12の間に非磁性金属層9、11を介して挟まれた強磁性金属層10の磁化が外部磁界に応じて回転可能に構成されている。

【0009】図16あるいは図17に示す構造の磁気抵抗センサA、Bであると、微小な印加磁界の変化に対して磁気抵抗センサAと磁気抵抗センサBの電気抵抗が直線的に感度良く変化し、しかも、この感度良く直線的に電気抵抗が変化する範囲を広くとれる利点がある。更に、磁化の向きを自由にした磁性層としてNi-Feなどの軟磁性材料を用いると、その軟磁性特性を利用することができ、ヒステリシスを少なくできるなどの利点を有する。更にまた、励磁方向を図17の矢印に示すような方向とした場合に、磁化の向きを自由にした強磁性金属層10の高周波透磁率の高い磁化困難軸を利用できるという利点がある。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図16あるいは図17に示す構造の磁気抵抗センサA、Bは、FeMnの反強磁性層5で隣接する第2の磁性層4の磁化を固定するか、上下のFeMnとNiOの反強磁性層7、13でそれらの間の強磁性金属層8、12の磁化を固定し、それらの間の強磁性金属層10の磁化を自由にする構造であるので、巨大磁気抵抗効果に寄与するNi-Fe（磁性層）/Cu（非磁性金属層）の界面の数を多くできない制約があり、MR比の大きさに制約を生じる問題があった。また、反強磁性層5、7の構成材料として用いられるFeMnは、耐食性および耐環境性の面から見て不利な問題がある。更に、図16あるいは図17に示す磁気抵抗センサA、Bは、ピン止めされた磁性層の磁化の向きと、磁化の向きを自由にされた磁性層の磁化の向きを直交させているが、磁性層毎に磁化容易軸の向きを直交させるためには、成膜時に真空を破らずに磁場を印加する方向を回転して成膜する必要が生じるので、複雑な成膜装置が必要となり、製造コストが高くなる問題がある。

【0011】次に、図16と図17に示す構造の磁気抵抗センサA、Bとは異なる構造の磁気抵抗センサの一例として、図13に示すように、ガラス基板15上に、Cuの非磁性層16とCoの硬質磁性材料層17とCuの非磁性層18とNi-Feの軟質磁性材料膜19を複数回、繰り返し積層した構造の磁気抵抗センサCが知られている。図18に示す構造の磁気抵抗センサCは、硬質磁性材料膜17と軟質磁性材料膜19の保磁力差を利用し、非磁性層18の厚さを所定の厚さに調整することにより、両磁性膜17、19の磁化の向きを平行にあるいは反平行にすることができ、これにより巨大磁気抵抗効果を得ることができる。

【0012】即ち、保磁力(Hc)の大きなCoの硬質磁性材料膜17の磁化が外部磁界に対して動き難く、保磁力(Hc)の小さなNi-Feの軟質磁性材料膜19の磁化が弱い外部磁界で容易に反転することを利用して、反強磁性状態（磁化が反平行の状態＝比抵抗(ρ)が大きい状態）と、強磁性状態（磁化が平行の状態＝比抵抗(ρ)が小さい状態）を小さな外部磁界変化で人工的に行き来させ得るようにすることができる。そして、この構造の磁気抵抗センサCは、積層数を自由に変更できるので、図16と図17に示す構造の磁気抵抗センサA、Bよりも大きなMR比を得ることができるとともに、環境面で問題のあるFeMnを使用しなくても良いなどの特徴がある。

【0013】ところが、Cuの非磁性層18を挟んで両側に設けられるCoの硬質磁性材料層17とNi-Feの軟質磁性材料膜19は、全くの異種物質であるがために、伝導電子の受けるポテンシャルが異なり、巨大磁気抵抗効果に寄与するスピン依存散乱以外の散乱が膜の界面で大きくなり、積層数を増やしてもMR比が期待する程向上しない問題がある。また、硬質磁性材料層17を構成するCoは、結晶磁気異方性が大きく、磁界中成膜等による誘導磁気異方性の制御が困難な問題があるために、所望の磁化の向きを有する多層構造を確実に製造することが難しい問題がある。

【0014】本発明は前記事情に鑑みてなされたものであり、図16あるいは図17に示す従来構造ではできなかった磁性膜の多層膜構造を実現できる積層構造にすることにより、高いMR比を得ることができると同時に、積層構造の各磁性膜の磁化の向きを設計どおりに確実に所定の方向に配向させることができる磁気抵抗効果多層膜とその製造方法を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明は前記課題を解決するために、磁歪を有する軟磁性膜と非磁性膜が交互に少なくとも2層以上積層された磁気抵抗効果多層膜であって、非磁性膜を挟んで上下に隣接する前記軟磁性膜にそれぞれ一軸性の圧縮応力か引張応力を層毎に交互に印加してなるものである。請求項2記載の発明は前記課題を解決するために、積層された軟磁性膜に交互に圧縮応力か引張応力が印加されて、積層された軟磁性膜の磁化容易軸の向きが交互にほぼ直交方向に向くように調整されてなる。

【0016】請求項3記載の発明は前記課題を解決するために、積層された軟磁性膜の磁歪が正であり、引張応力が印加された軟磁性膜の自発磁化の向きをピン止めするとともに、圧縮応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きを自由にしてなるものである。請求項4記載の発明は前記課題を解決するために、積層された軟磁性膜の磁歪が正であり、引張応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きを自由にするとともに圧縮応力が印加された軟磁性膜

の磁化の向きをピン止めしてなるものである。請求項5記載の発明は前記課題を解決するために、積層された軟磁性膜の磁歪が負であり、引張応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きを自由にするとともに圧縮応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きをピン止めしてなるものである。

【0017】請求項6記載の発明は前記課題を解決するために、積層された軟磁性膜の磁歪が負であり、引張応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きをピン止めするとともに、圧縮応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きを自由にしてなるものである。請求項7記載の発明は前記課題を解決するために、請求項1～6のいずれかにおいて、少なくとも一部を圧電材料から構成した基板を用い、この基板上に軟磁性膜と非磁性膜を積層してなるものである。請求項8記載の発明は前記課題を解決するために、熱膨張係数が結晶方位で異なり、しかもその方向が直交している基板を用い、この基板上に軟磁性膜と非磁性膜を積層してなるものである。請求項9記載の発明は前記課題を解決するために、基板を一方に伸張させるか収縮させた状態で基板上に軟磁性膜を形成する工程と、基板を変形させない状態で基板上に非磁性膜を形成する工程と、先の工程で基板に加えた伸張状態あるいは収縮状態とは逆の状態に基板を収縮させるか伸張させて非磁性膜上に軟磁性膜を形成する工程をそれぞれ選択して行い、軟磁性膜と非磁性膜が交互に少なくとも2層以上基板上に積層された磁気抵抗効果多層膜を製造するものである。請求項10記載の発明は前記課題を解決するために、熱膨張係数が結晶方位で異なり、しかもその方向が直交している基板を用い、基板を一方に伸張させるか収縮させるために基板を加熱するか冷却するかを選択して行うことを特徴とするものである。請求項11記載の発明は前記課題を解決するために、基板を成膜面側に凸状に湾曲させるか凹状に湾曲させた状態で基板上に軟磁性膜を形成する工程と、基板を変形させていない状態で基板上に非磁性膜を形成する工程と、先の工程で基板に加えた湾曲状態とは逆の湾曲状態に基板を収縮させるか伸張させて非磁性膜上に軟磁性膜を形成する工程をそれぞれ選択して行い、軟磁性膜と非磁性膜が交互に少なくとも2層以上基板上に積層された磁気抵抗効果多層膜を製造するものである。

【0018】請求項12記載の発明は前記課題を解決するために、圧電材料からなる基板に電圧を印加して基板を一方に伸張させるか収縮させた状態で基板上に軟磁性膜を形成する工程と、基板に電圧を印加しない状態で基板上に非磁性膜を形成する工程と、先の工程で基板に加えた伸張状態あるいは収縮状態とは逆の状態に基板を収縮させるか伸張させて非磁性膜上に軟磁性膜を形成する工程をそれぞれ選択して行い、軟磁性膜と非磁性膜が交互に少なくとも2層以上基板上に積層された磁気抵抗効果多層膜を製造するものである。請求項13記載の発

明は前記課題を解決するために、基板両端部に圧電材を添設し、圧電材に電圧を印加して基板を一方に伸張させるか収縮させた状態で基板上に軟磁性膜を形成する工程と、圧電材に電圧を印加しない状態で基板上に非磁性膜を形成する工程と、先の工程で基板に加えた伸張状態あるいは収縮状態とは逆の状態に基板を収縮させるか伸張させて非磁性膜上に軟磁性膜を形成する工程をそれぞれ選択して行い、軟磁性膜と非磁性膜が交互に少なくとも2層以上基板上に積層された磁気抵抗効果多層膜を製造するものである。

【0019】請求項14記載の発明は前記課題を解決するために、請求項12または13において磁歪が正の軟磁性膜を用い、軟磁性膜の形成時に基板を伸張させて軟磁性膜に引張応力を印加するとともに、他方の軟磁性膜の形成時に基板を収縮させて軟磁性膜に圧縮応力を印加することで、引張応力が印加された軟磁性膜の自発磁化の向きをピン止めするとともに、圧縮応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きを自由にするものである。請求項15記載の発明は前記課題を解決するために、請求項12または13において磁歪が正の軟磁性膜を用い、軟磁性膜の形成時に基板を伸張させて軟磁性膜に引張応力を印加するとともに、他方の軟磁性膜の形成時に基板を収縮させて軟磁性膜に圧縮応力を印加することで、引張応力が印加された軟磁性膜の自発磁化の向きを自由にするとともに圧縮応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きをピン止めするものである。請求項16記載の発明は前記課題を解決するために、請求項12または13において磁歪が負の軟磁性膜を用い、軟磁性膜の形成時に基板を伸張させて軟磁性膜に引張応力を印加するとともに、軟磁性膜の形成時に基板を収縮させて軟磁性膜に圧縮応力を印加することで、引張応力が印加された軟磁性膜の自発磁化の向きを自由にするとともに、圧縮応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きをピン止めするものである。請求項17記載の発明は前記課題を解決するために、請求項12または13において磁歪が負の軟磁性膜を用い、軟磁性膜の形成時に基板を伸張させて軟磁性膜に引張応力を印加するとともに、他方の軟磁性膜の形成時に基板を収縮させて軟磁性膜に圧縮応力を印加することで、引張応力が印加された軟磁性膜の自発磁化の向きをピン止めするとともに、圧縮応力が印加された軟磁性膜の磁化の向きを自由にするものである。

【0020】「作用」非磁性膜を挟んで上下に隣接する磁歪を有する軟磁性膜に一軸性の圧縮応力が引張応力が交互に印加されているので、応力と磁歪に応じて磁性膜には交互に直交する方向を向くように磁化容易軸の向きが調整される。更に、この応力と磁歪によって付与される一軸性の磁気異方エネルギーの大きさは、応力の大きさに比例して大きくなる。従って、各磁性膜に印加する応力が大きい方の一方の磁性膜の磁化がピン止めされ、応力が小さい方の他方の磁性膜の磁化の向きが自由にさ

れるように調整することができる。自由にされた磁性膜の磁化の向きが外部磁場の有無に応じて変化すると、磁場の有無に応じて抵抗が変化する。

【0021】また、本発明の構造は、軟磁性膜と非磁性膜を2層以上積層した多層構造にすることが容易であり、多層構造化することで、一部の従来構造では実現できなかった多層構造を実現することができる。本発明において、軟磁性膜の磁歪を正とした場合、膜面内の一方に引張応力が作用した軟磁性膜の磁化は応力と同一方向を向き、圧縮応力が作用した軟磁性膜の磁化の向きは応力の方向と直角な方向を向く。また、軟磁性膜の磁歪を負とした場合、膜面内の一方に圧縮応力が作用した軟磁性膜の磁化は応力と同一方向を向き、引張応力が作用した軟磁性膜の磁化の向きは応力の方向と直角な方向を向く。ここで、それぞれの引張応力と圧縮応力の絶対値として、大きい応力が作用している方の磁性膜の磁化がピン止めされ、小さい応力が作用している方の磁性膜の磁化の向きが自由にされる。

【0022】次に、基板を一方に伸張させるか、収縮させた状態で形成した軟磁性膜と、基板を変形させないで形成した非磁性膜を積層することで、軟磁性膜に一軸的な引張応力あるいは圧縮応力が印加される。この圧縮応力あるいは引張応力は、磁性層の形成時に基板を一方に伸張させるか、収縮させることで容易に印加できるので、磁化の向きがピン止めされた磁性膜と磁化の向きが自由にされた磁性膜が非磁性膜を介して交互に基板上に形成される。そして、磁性膜に一軸的な引張応力あるいは圧縮応力を印加するのは、基板を成膜面に対して凸状か凹状に湾曲させることで容易に行うことができ、また、圧電材料製の基板を用いた場合は、通電による切り換えにより容易に行うことができる。また、圧電材料ではない非磁性体の基板の両端部に圧電材を添設し、この圧電材の圧電歪により基板を伸張状態あるいは伸張状態にするならば、圧電材への通電状態の切り換えにより磁性膜に一軸的な引張応力あるいは圧縮応力が印加される。また、磁性膜に一軸的な引張応力あるいは圧縮応力を印加する方法の他の例として、熱膨張係数が結晶方位で異なり、しかもその方向が直交している基板を用い、加熱状態で伸張した状態の基板と冷却状態で縮小した状態の基板に交互に成膜することで交互積層磁性膜に一軸的な引張り応力あるいは圧縮応力が交互に印加される。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。図1は本発明に係る磁気抵抗効果多層膜の第1実施例を示すもので、この例の磁気抵抗効果多層膜Dは、非磁性体の基板30の上に、軟磁性膜31、31'と非磁性膜32を繰り返して必要数積層（図1の例では7層積層）して構成されている。なお、この例では基板30上に積層された軟磁性膜のうち、第1番目（奇数番目）のものが軟磁性膜31、第2番目

（偶数番目）のものが軟磁性膜31'、第3番目（奇数番目）のものが軟磁性膜31、第4番目（偶数番目）のものが軟磁性膜31'とされ、更に各軟磁性膜31、31'はいずれも正の磁歪定数を有する軟磁性材料から形成されている。なお、この例では7層構造の例を示したが、9層以上の積層構造の場合においても7層構造の場合と同様な順に軟磁性膜が積層されるので、積層された軟磁性膜の順に奇数番目のものが軟磁性膜31、偶数番目のものが軟磁性膜31'とされる。また、基板30上に形成される各膜においてこの例では最上層のものを軟磁性膜31'としたが、この膜の上に更に保護膜等を設けても良く、軟磁性膜31と軟磁性膜31'の順序を逆にして、最初に軟磁性膜31'を形成し、次いで非磁性膜32、軟磁性膜31の順序で積層しても良いのは勿論である。

【0024】前記基板30は、PZT（ジルコン酸鉛）、 LiNbO_3 、 LiTaO_3 、 $\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$ 、 PbTiO_3 などに代表される圧電材料から形成される。なお、基板30の上面には、基板上面の凹凸やうねりを除去する目的であるいはその上に積層される層の結晶整合性を良好にするなどの目的で被覆層やバッファ層を適宜設けても良い。前記非磁性膜32は、Cu、Au、Ag、Ruなどに代表される非磁性体からなり、10～50Åの厚さに形成されている。ここで非磁性膜32の厚さが10Åより薄いと、非磁性層32を介した双方の磁性層31、31'間に働く反強磁性的相互作用が弱くなり過ぎて感度が低下するおそれがあることと、更に薄くなった場合は、非磁性層31にピンホールが生じ、ピンホールを介して双方の磁性層31、31'が直接強磁性的に結合してしまい、MR効果を生じなくなるおそれもあるため好ましくない。また、肘成膜32が50Åより厚いと、センス電流の分流効果、即ち、MR効果に寄与する伝導電子のスピンに依存した散乱を生じる電子の割合が減り、厚い非磁性導電層をスルーパスする電子の割合が増加する効果により、MR効果が低下するために好ましくない。

【0025】前記軟磁性膜31、31'は、Ni-Fe、Ni-Fe-Co、Co-Fe、などの軟磁気特性に優れた軟磁性材料から構成されている。なお、Ni-Feにおいては、Feが約19原子%以上なる組成範囲のものの磁歪が正であることが知られ、Ni-Fe-Coにおいては、Feが約5～19原子%以上の組成範囲のものの磁歪が正であることが知られているので、この例ではこれらの組成のものを使用する。

【0026】そして、基板30上に積層された軟磁性膜のうち、第1番目の軟磁性膜31と第3番目の軟磁性膜31には比較的大きな引張応力が印加されて、それら自身の磁化容易軸の方向は図1の各膜内に示した右向きの矢印aに示すように向けられ、第2番目の軟磁性膜31'と第4番目の軟磁性膜31'には小さな圧縮応力が

印加されてそれら自身の磁化容易軸の方向は図1の中黒の2重丸印で示すように前記矢印aと直交する方向（即ち、図1の紙面垂直方向）に向けられている。従って前記の軟磁性膜31、31'において、大きな引張応力が印加された軟磁性膜31が磁化の向きがピン止めされた膜であり、小さな圧縮応力が印加された軟磁性膜31'が磁化の向きが自由にされた膜になる。

【0027】図1に示す構造の磁気抵抗効果多層膜Dにあっては、外部磁場が0の状態では図1に示すように軟磁性膜31、31の磁化の向きと、軟磁性膜31'、31'の磁化の向きが直交するように向いているが、この磁気抵抗効果多層膜Dに図1に示すように所定の外部磁場Hが作用すると、ピン止めされていない軟磁性膜31'、31'の磁化の向きが回転し、軟磁性膜31、31の磁化の向きと反対方向を向くようになる。このように、軟磁性膜31と軟磁性膜31'の磁化の向きの相対的な角度が変わる場合は抵抗が変化するので、外部磁場の強さに影響を受けて抵抗が変化することになり、この抵抗変化を測定することで、逆に磁場が作用したか否かを測定することができる。

【0028】そして、軟磁性膜31'、31'は小さな外部磁界であっても容易に磁化の向きが回転するので、小さな外部磁場にも敏感に感応するように感度を向上させることができる。また、図1に示す構造では軟磁性膜31、31'と非磁性膜32を必要数だけ自由に積層できるので、図11と図12を基に先に説明した従来構造の磁気抵抗センサよりも高いMR比を得ることができる。また、従来構造では必要であったFeMnをこの例では用いることがないので、この例の構造では耐環境面での問題も生じない。

【0029】図2は本発明に係る磁気抵抗効果多層膜の第2実施例を示すもので、この例の磁気抵抗効果多層膜Eは、非磁性体の基板30の上に、軟磁性膜33、33'と非磁性膜34を繰り返して必要数積層（図1の例では7層積層）して構成されている。なお、この例では、基板30上に積層された軟磁性膜のうち、第1番目のものが軟磁性膜33、第2番目のものが軟磁性膜33'、第3番目のものが軟磁性膜33、第4番目のものが軟磁性膜33'とされ、更に各軟磁性膜33、33'はいずれも負の磁歪定数を有する軟磁性材料から形成されている。

【0030】前記軟磁性膜33、33'は、Ni-Fe、Ni-Fe-Co、Co-Fe、Ni-Coなどの軟磁性特性に優れた軟磁性材料から構成されている。なお、Ni-Feにおいては、Feが約19原子%以下の組成範囲のものの磁歪が負であることが知られ、Ni-Fe-Coにおいては、Feが約5～19原子%以下なる組成範囲のものの磁歪が負であることが知られているので、この例ではこれらの組成のものを使用する。そして、基板30上に積層された軟磁性膜のうち、第2番目

の軟磁性膜33'と第4番目の軟磁性膜33'には、比較的大きな圧縮応力が印加されてそれら自身の磁化容易軸の方向は図2の右向きの矢印aに示すように向けられ、第1番目の軟磁性膜33と第3番目の軟磁性膜33には小さな引張応力が印加されて、それら自身の磁化容易軸の方向は図1の各膜内に示した中黒の2重丸印で示すように前記矢印aと直交する方向（即ち、図1の紙面垂直方向）に向けられている。従って前記の軟磁性膜33、33'において、大きな圧縮応力が印加された軟磁性膜33'が磁化の向きがピン止めされた膜であり、小さな引張応力が印加された軟磁性膜33が磁化の向きが自由にされた膜になる。

【0031】図2に示す構造の磁気抵抗効果多層膜Eにあっては、外部磁場が0の状態では図2に示すように軟磁性膜33、33の磁化の向きと、軟磁性膜33'、33'の磁化の向きが直交するように向いているが、この磁気抵抗効果多層膜Eに図2に示すように所定の外部磁場Hが作用すると、ピン止めされていない軟磁性膜33、33の磁化の向きが回転し、軟磁性膜33'、33'の磁化の向きと反対方向を向くようになる。この際に外部磁場の強さに影響を受けて抵抗が変化することになるので、この抵抗変化を測定することで、逆に磁場が作用したか否かを測定することができる。そして、軟磁性膜33、33は小さな外部磁界であっても容易に磁化の向きが回転するので、小さな外部磁場にも敏感に感応するように感度を向上させることができる。また、図2に示す構造では軟磁性膜33、33'と非磁性膜34を必要数だけ自由に積層できるので、図11と図12を基に先に説明した従来構造の磁気抵抗センサよりも高いMR比を得ることができる。また、従来構造では必要であったFeMnをこの例では用いることがないので、この例の構造では耐環境面での問題も生じない。

【0032】次に図1に示す構造の磁気抵抗効果多層膜Dの製造方法の一例について図3～図5を基に以下に説明する。図1に示す磁気抵抗効果多層膜Dを製造するには、圧電材料からなる基板30に通電して基板30を図の横方向に縮小して縮んだままの状態になるように電圧を印加し、その状態で基板30上にスパッタ等の成膜法でNi-Feなどの軟磁性膜31aを図3に示すように形成する。次に、軟磁性膜31aを成膜したならば、基板30への通電を停止し、縮小した状態の基板30を基に戻した状態でCu等の非磁性膜32を図4に示すように成膜する。なお、図4に示すように基板30に通電していない状態では、先に形成した軟磁性膜31aには引張応力が作用した状態となる。従って基板30上に引張応力が印加された軟磁性膜31を形成することができる。

【0033】次に、図5に示すように基板30に先の通電とは逆向きに通電して基板30を図の横方向に伸張して伸びたままの状態になるように電圧を印加し、その状

態で非磁性膜32上に軟磁性膜31a'を図5に示すように形成する。なお、この際に形成した軟磁性膜31a'は基板30への通電を停止して基板30を基の状態にすると、圧縮応力が作用した状態となり、非磁性膜32上に圧縮応力が印加された軟磁性膜31'が得られる。また、圧電材料の基板30への印加電圧により、膜に加える応力の大きさ(絶対値)を所望の値に調整することができる。次に、以上のような操作を繰り返し行い、図6に示すように基板30を伸張させた場合に軟磁性膜31aを形成し、次いで基板30への通電を行わない状態として非磁性膜32を形成し、更に図7に示すように基板30を縮小した状態として軟磁性膜31a'を形成することで、7層構造の多層膜を形成することができる。そして、基板30への通電を停止して基板30を伸張も縮小もしていない通常の状態にすると、基板30上には、引張応力と圧縮応力が交互に作用した軟磁性膜を有する図1に示す磁気抵抗効果多層膜Dと同等の構造の多層膜を得ることができる。以上の如く磁気抵抗効果多層膜Dを製造すると、複雑な磁界中成膜装置を用いなくとも交互に磁化の向きの異なる軟磁性膜を備えた磁気抵抗効果多層膜を確実に製造することができる。また、本発明では、磁界中成膜で付与できる異方性エネルギーより大きな異方性を発生できるので、ピン止めすべき磁性層の磁化を確実にピン止めして、磁気抵抗効果を有効に発揮させることができる。

【0034】図8と図9は、磁気抵抗効果多層膜を製造する場合に用いる基板の他の例を示すもので、この例の基板40は、ガラス、Si、 Al_2O_3 、TiC、SiC、 Al_2O_3 とTiCとの焼結体、フェライトなどに代表される非磁性材料から構成された基板本体41と、基板本体41の両端部に接合された圧電材料からなる補助基板42から構成されたものである。補助基板42を構成する圧電材料は、先の実施例の基板30を構成する圧電材料と同等の物を用いることができ、これを基板本体1の両側に接着等の手段で取り付けることによって基板40を得ることができる。この例の基板40を用いて先に説明したような磁気抵抗効果多層膜を製造するには、補助基板42、42にそれぞれ通電して基板本体41に図8に示すような圧縮応力を印加するか、図9に示すように引張応力を印加するかを切り換え、圧縮応力か引張応力を加える際に軟磁性膜を形成し、補助基板42、42に対する通電を停止して基板本体41に応力を印加していない状態で非磁性膜を形成することで行う。この処理を適宜選択して基板40上に引張応力を印加した軟磁性膜と、応力を印加していない非磁性膜と、圧縮応力を印加した軟磁性膜を順次必要層数積層することで目的の磁気抵抗効果多層膜を得ることができる。なお、この例の方法で得られた磁気抵抗効果多層膜において、補助基板42、42とその上に形成されている種々の積層膜は必要がなければ切断して除去しても良いし、残しておいても

良い。

【0035】図10は磁気抵抗効果多層膜を製造する場合に用いる基板の他の例を示すもので、この例の基板50は、ガラス、Si、 Al_2O_3 、TiC、SiC、 Al_2O_3 とTiCとの焼結体、フェライトなどに代表される非磁性材料から構成されていても良く、先の第1実施例の基板30の如く全体が圧電材料から形成されていても良いし、図8と図9に示したような複合型の基板40と同一構造であっても良い。この基板50を用いて先の例の場合と同様に磁気抵抗効果多層膜を形成するには、基板50を図10(b)に示す如く成膜面(上面)側に凸になるように上向きに湾曲させるか、図10(c)に示す如く成膜面(上面)側に凹になるように下向きに湾曲させた状態で磁性膜を成膜し、図10(a)に示すように湾曲させない状態で非磁性膜を成膜すればよい。

【0036】図10(a)に示すように基板50を湾曲させていない状態では非磁性膜を形成するので、特に応力が印加されていない状態の非磁性膜が形成され、図10(b)に示すように上向きに湾曲させた状態で磁性膜を形成した場合は、基板50の湾曲を直すと、磁性膜には圧縮応力が作用し、図10(c)に示すように下向きに湾曲させた状態で磁性膜を形成した場合は、基板50の湾曲を直すと、磁性膜には引張応力が作用する。従って、基板50に対し、図10(a)、(b)、(c)の各状態での成膜処理を選択して行い、基板50上に軟磁性膜と非磁性膜とを順次積層することで図1に示す第1実施例の構造の磁気抵抗効果多層膜Dと同等の構成のものを製造することができる。また、前記基板50を圧電材料から構成した場合は、圧電材料の変位を伸張モードあるいは伸縮モードではなく、曲げモードに変更して構成し、基板50が図10(b)あるいは図10(c)に示すように圧電材料の変位で上下に湾曲するように構成するならば、基板50の湾曲状態の変化を利用して圧縮応力あるいは引張応力を所望の磁性膜に印加することができる。

【0037】次に図11～図15は、本発明に係る磁気抵抗効果多層膜の他の例の構造と製造方法を説明するためのものである。図11～図15を基に以下に説明する方法を実施することで図15に示す磁気抵抗効果多層膜Gを得ることができる。この例の磁気抵抗効果多層膜Gが図1あるいは図2に示す構造の磁気抵抗効果多層膜D、Eと異なっているのは基板60である。この例では、基板60が、結晶方位によって熱膨張係数の異なる材料であって、しかも、その方向が直交している材料から構成されている。

【0038】このような材料として具体的には、単結晶サファイア、水晶、方解石、Sb、Be、Bi、Co、Sn、Zn、Zrなどを用いることができる。ここで、単結晶サファイアは、 $\langle 2\bar{2}01 \rangle$ 方向(本明細書において結晶格子の方向指数のアンダーライン部分(例えば

この例では2)は、その数値の方向指数の逆方向を示すものとする。)の熱膨張係数は 70.1×10^{-7} であり、その直交方向 $\langle 1120 \rangle$ の熱膨張係数は 76.4×10^{-7} である。従って基板60を加熱すると基板60は $\langle 1120 \rangle$ 方向に伸びる状態となり、冷却された場合は縮小する状態となる。

【0039】また、水晶の $[0001]$ 方向(結晶のC軸に平行な方向)の熱膨張係数は 7.5×10^{-6} 、 $[0110]$ 方向(結晶のC軸に垂直な方向)の熱膨張係数は 13.7×10^{-6} である。同様に、方解石結晶のC軸に平行な方向の熱膨張係数は 26.3×10^{-6} 、C軸に垂直な方向の熱膨張係数は 5.44×10^{-6} である。更に、SbのC軸に平行な方向の熱膨張係数は $15.6 \sim 16.8 \times 10^{-6}$ 、C軸に垂直な方向の熱膨張係数は 7.0×10^{-6} であり、BeのC軸に平行な方向の熱膨張係数は 10.4×10^{-6} 、C軸に垂直な方向の熱膨張係数は 15.0×10^{-6} であり、BiのC軸に平行な方向の熱膨張係数は 16.2×10^{-6} 、C軸に垂直な方向の熱膨張係数は 11.6×10^{-6} であり、CoのC軸に平行な方向の熱膨張係数は 16.1×10^{-6} 、C軸に垂直な方向の熱膨張係数は 12.6×10^{-6} であり、SnのC軸に平行な方向の熱膨張係数は $25.9 \sim 32.2 \times 10^{-6}$ 、C軸に垂直な方向の熱膨張係数は $14.1 \sim 16.8 \times 10^{-6}$ であり、ZnのC軸に平行な方向の熱膨張係数は $56 \sim 64.0 \times 10^{-6}$ 、C軸に垂直な方向の熱膨張係数は $14.1 \sim 16 \times 10^{-6}$ であり、ZrのC軸に平行な方向の熱膨張係数は 4×10^{-6} 、C軸に垂直な方向の熱膨張係数は 13×10^{-6} である。従ってこれらのいずれの材料も基板60用として使用できる。

【0040】次に、前記基板60を用いた構造の磁気抵抗効果多層膜Gを製造する方法の一例について説明する。前記材料からなる基板60を用意したならば、この基板60を所定の温度に加熱した状態で図11に示すように基板60上に軟磁性膜61aを成膜する。ここで所定の温度とは、基板60と軟磁性膜61aが損傷しない程度の高温であるので、具体的には $100 \sim 300^\circ\text{C}$ の範囲が好ましい。前記の温度に加熱した状態では基板60は図11に示すように伸張した状態であるので、この加熱を停止して常温に戻すことで軟磁性膜61aには熱膨張係数の大きな特定の結晶方向に沿って一軸圧縮応力が作用し、これにより一軸圧縮応力が作用した軟磁性膜61を得ることができる。この状態で図12に示すようにCu等の非磁性層62をスパッタ等の成膜法で形成する。

【0041】次に、基板60を液体窒素などの冷媒で常温よりも低い所定の温度に冷却して基板60を縮小しながら図13に示すように非磁性膜62上に軟磁性膜61a'を形成する。ここで所定の温度とは、基板60と軟磁性膜61aが損傷しない程度の低温であるので、具体的には $0 \sim 200^\circ\text{C}$ の範囲が好ましい。ここで形成し

た軟磁性膜61a'は、基板60の冷却を停止して基板60を常温にすると、熱膨張係数が大きな方向に沿って一軸引張応力が作用した状態となり、非磁性膜62上に一軸引張応力が印加された軟磁性膜61'が得られる。次に、以上のような操作を繰り返し行い、図14～図15に示すように基板60上に軟磁性膜61a、非磁性膜62、軟磁性膜61a'を形成すると図15に示す7層構造の磁気抵抗効果多層膜Fを得ることができる。

【0042】以上の方法で製造された磁気抵抗効果多層膜Fにあつては、先の例の磁気抵抗効果多層膜D、Eと同等の効果を有する。また、磁気抵抗効果多層膜Fを製造する場合、加熱温度と冷却温度をそれぞれ制御することで膜に付加する引張応力と圧縮応力を容易に調整できる。即ち、より高温に加熱すればより多くの引張応力を軟磁性膜61に付加することができ、より低温に冷却すればより多くの圧縮応力を軟磁性膜61'に付加することができる。以上の如く磁気抵抗効果多層膜Fを製造すると、複雑な磁界中成膜装置を用いなくとも交互に磁化の向きの異なる軟磁性膜を備えた磁気抵抗効果多層膜を確実に製造することができる。

【0043】なお、前記の例においては、基板60に対し加熱成膜、常温成膜、冷却成膜の繰り返し順序で処理して7層構造としたが、冷却成膜、常温成膜、加熱成膜の順序で繰り返し成膜を行っても良いのは勿論である。冷却成膜、常温成膜、加熱成膜の順序で繰り返し成膜を行った場合、基板60上に、軟磁性膜61'と非磁性膜62と軟磁性膜61と非磁性膜62と軟磁性膜61'と非磁性膜62と軟磁性膜61とが順序に積層された磁気抵抗効果多層膜が得られる。

【0044】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、非磁性膜を挟んで上下に隣接する磁歪を有する軟磁性膜に一軸性の圧縮応力が引張応力を交互に印加しているため、応力と磁歪に応じて軟磁性膜には交互に直交する方向を向くように磁化容易軸の向きが調整される。この結果、一方の軟磁性膜の磁化がピン止めされ、他方の軟磁性膜の磁化の向きが自由にされることになり、自由にされた軟磁性膜の磁化の向きが外部磁場の有無に応じて変化する。この際、磁場の有無に応じて抵抗が変化するので、この抵抗変化を利用して磁場検出ができる。従って本発明の構造を磁気ヘッド、磁気センサに適用することができる。また、本発明の構造は、軟磁性膜と非磁性膜を2層以上積層した多層構造にすることが容易であり、多層構造化することで、一部の従来構造では実現できなかった多層構造を実現することができ、高いMR比を得ることができる。更に、保磁力の異なる2種類の磁性層を用いた従来構造で実現できなかった交互に直交する方向を向いた磁化配置も同時に実現できる。更に、本発明では、磁界中成膜で付与できる異方性エネルギーより大きな異方性を発生できるので、ピン止めすべき磁性層の磁化を

確実にピン止めして、磁気抵抗効果を有効に発揮させることができる。

【0045】本発明において、軟磁性膜の磁歪を正とした場合と負とした場合とでは、引張応力と圧縮応力それぞれが作用したときに生じる磁気異方性による磁化容易軸の向きが90°逆転した関係になるだけであり、従って、磁歪が正の軟磁性膜でも負の軟磁性膜でも本発明に適用することができる。更に、本発明の構造では、基板を圧電材料から、あるいは、熱膨張係数が結晶方位で異なり、しかもその方向が直交している材料から構成することができる。

【0046】次に、基板を一方に伸張させるか、収縮させた状態で形成した軟磁性膜と、基板を変形させないで形成した非磁性膜を積層することで、軟磁性膜に容易に一軸的な引張応力あるいは圧縮応力を印加することができる。この圧縮応力あるいは引張応力は、磁性層の形成時に基板を一方に伸張させるか、収縮させることで容易に印加できるので、応力の大きさを調節することにより、磁化の向きがピン止めされた軟磁性膜と磁化の向きが自由にされた軟磁性膜を非磁性膜を介して交互に容易に基板上に形成することができる。

【0047】そして、軟磁性膜に一軸的な引張応力あるいは圧縮応力を印加するのは、基板を成膜面に対して凸状か凹状に湾曲させることで容易に行うことができ、また、圧電材料製の基板を用いた場合は、通電による切り換えにより行うことが容易にできる。また、圧電材料ではない非磁性体の基板の両側に圧電材を添設し、この圧電材の圧電歪により基板を伸張状態あるいは伸張状態にするならば、圧電材への通電状態の切り換えにより軟磁性膜に一軸的な引張応力あるいは圧縮応力を容易に印加することができる。

【0048】更に、軟磁性膜に一軸的な引張応力あるいは圧縮応力を印加する他の手段として、熱膨張係数が結晶方位で異なりしかもその方向が直交している基板を用い、基板加熱時と基板冷却時に軟磁性膜をそれぞれ成膜することで、一軸的な引張応力あるいは圧縮応力を交互に付加した軟磁性膜を有する磁気抵抗効果多層膜を得ることができる。また、基板加熱条件あるいは冷却条件により作用させる一軸的な引張応力と圧縮応力を基板加熱条件と基板冷却条件の設定で容易に調整できるので、引張応力と圧縮応力を確実に作用させた軟磁性膜を有する磁気抵抗効果多層膜を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る磁気抵抗効果多層膜の第1実施例の断面図である。

【図2】本発明に係る磁気抵抗効果多層膜の第2実施例の断面図である。

【図3】図1に示す磁気抵抗効果多層膜の製造方法の一例を示すもので、引張応力を印加した基板上に軟磁性膜を形成した状態を示す断面図である。

【図4】図1に示す磁気抵抗効果多層膜の製造方法の一例を示すもので、応力を印加していない基板上に非磁性膜を形成した状態を示す断面図である。

【図5】図1に示す磁気抵抗効果多層膜の製造方法の一例を示すもので、圧縮応力を印加した基板上に軟磁性膜を形成した状態を示す断面図である。

【図6】図1に示す磁気抵抗効果多層膜の製造方法の一例を示すもので、引張応力を印加した基板上に軟磁性膜を形成した状態を示す断面図である。

【図7】図1に示す磁気抵抗効果多層膜の製造方法の一例を示すもので、圧縮応力を印加した基板上に軟磁性膜を形成した状態を示す断面図である。

【図8】本発明方法を実施する場合に用いる基板の第2の例に圧縮応力を印加している状態を示す図である。

【図9】本発明方法を実施する場合に用いる基板の第2の例に引張応力を印加している状態を示す図である。

【図10】本発明方法を実施する場合に用いる基板の第3の例に圧縮応力と引張応力を印加する状態を説明するための他の方法を示す図であり、図10(a)は基板を湾曲させていない状態を示す側面図、図10(b)は基板を上向きに湾曲させた状態を示す側面図、図10(c)は基板を下向きに湾曲させた状態を示す側面図である。

【図11】他の例の磁気抵抗効果多層膜の製造方法の一例を示すもので、加熱して伸張させた基板上に軟磁性膜を形成した状態を示す断面図である。

【図12】他の例の磁気抵抗効果多層膜の製造方法の一例を示すもので、常温状態の基板上に軟磁性膜を形成した状態を示す断面図である。

【図13】他の例の磁気抵抗効果多層膜の製造方法の一例を示すもので、冷却して縮小させた基板上に軟磁性膜を形成した状態を示す断面図である。

【図14】他の例の磁気抵抗効果多層膜の製造方法の一例を示すもので、5層構造とした状態を示す断面図である。

【図15】他の例の磁気抵抗効果多層膜の製造方法の一例を示すもので、7層構造とした状態を示す断面図である。

【図16】従来の磁気抵抗効果素子用多層膜の第1の例を示す分解図である。

【図17】従来の磁気抵抗効果素子用多層膜の第2の例を示す断面図である。

【図18】従来の磁気抵抗効果素子用多層膜の第3の例を示す断面図である。

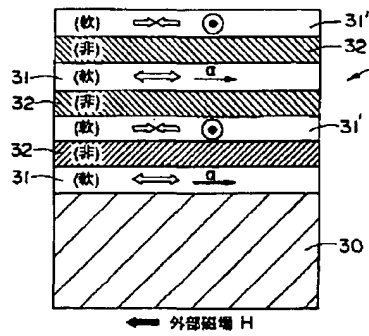
【符号の説明】

D、E、	磁気抵抗効果多層膜
30	基板
31、31'	軟磁性膜
32	非磁性膜
33、33'	軟磁性膜

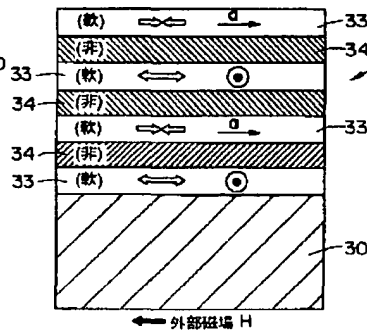
34 非磁性膜
40、50、 基板
41 基板本体

42 補助基板
60 基板
61、61' 軟磁性膜

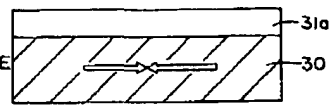
【図1】



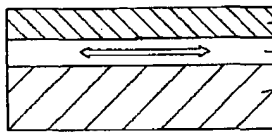
【図2】



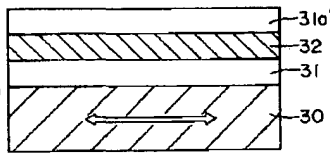
【図3】



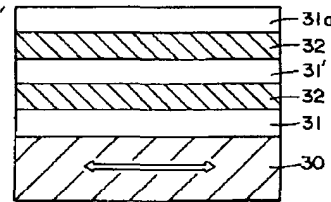
【図4】



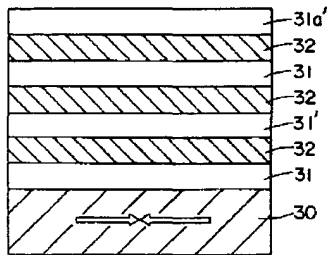
【図5】



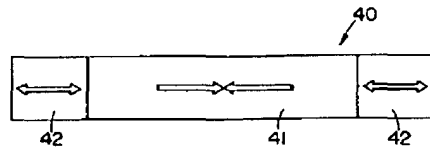
【図6】



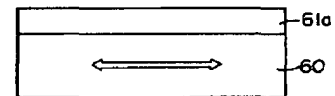
【図7】



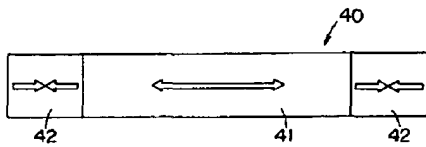
【図8】



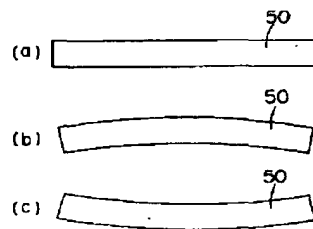
【図11】



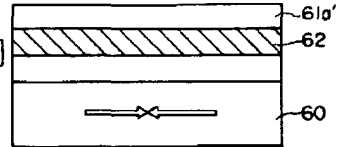
【図9】



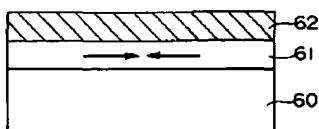
【図10】



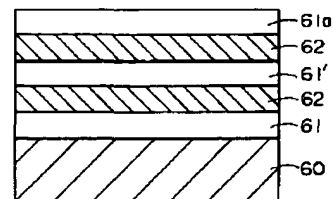
【図13】



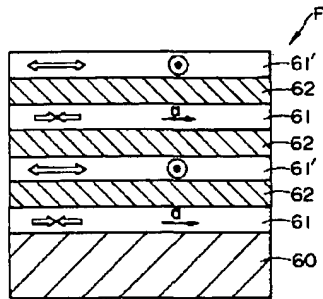
【図12】



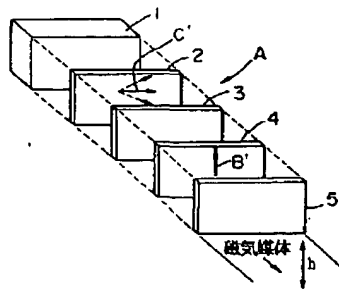
【図14】



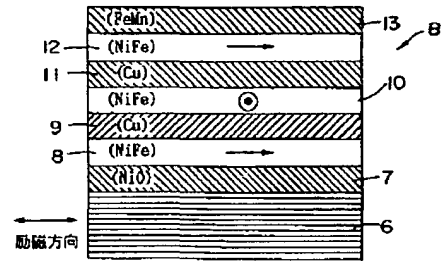
【図15】



【図16】



【図17】



【図18】

